



UNIVERSITAS HASANUDDIN

PENENTUAN KAPASITANSI SPESIFIK KARBON AKTIF SEKAM PADI (*Oryza sativa*) HASIL MODIFIKASI DENGAN HNO_3 , H_2SO_4 , DAN H_2O_2 DENGAN METODE CYCLIC VOLTAMMETRY

Rahmayanti*, Muhammad Zakir, dan Abdul Karim

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas

Hasnuddin Makassar, Korespondensi*: rahmayantirara@gmail.com

Abstrak. Sintesis dan karakterisasi karbon aktif sekam padi (*Oryza sativa*) hasil modifikasi dengan HNO_3 , H_2SO_4 dan H_2O_2 sebagai bahan elektroda superkapasitor telah dilakukan. Sekam padi telah melewati beberapa tahapan antara lain proses karbonisasi, ekstraksi silika, aktivasi dengan H_3PO_4 , hingga modifikasi dengan HNO_3 , H_2O_2 dan H_2SO_4 . Proses karbonisasi dilakukan pada suhu 350°C . Hasil analisis dengan XRF menunjukkan kandungan senyawa silika pada karbon aktif sebesar 96,144 % b/b. Luas permukaan karbon aktif ditentukan dengan metode metilen biru yang menunjukkan luas permukaan karbon aktif sebesar $178,687 \text{ m}^2/\text{gram}$. Karbon aktif hasil modifikasi dengan HNO_3 , H_2O_2 , dan H_2SO_4 dikarakterisasi dengan metode titrasi Boehm yang ditunjang oleh FTIR. Nilai kapasitansi spesifik ditentukan dengan metode *Cyclic Voltammetry* pada karbon aktif termodifikasi HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 berturut-turut $24,96 \mu\text{F/g}$, $271,812 \mu\text{F/g}$, dan $13,49 \mu\text{F/g}$.

Kata kunci: Karbon aktif, modifikasi permukaan, karakterisasi, kapasitansi spesifik.

Abstract. Synthesis and characterization of activated rice husks (*Oryza sativa*) were modified with HNO_3 , H_2SO_4 and H_2O_2 as supercapacitor electrode materials. Rice husk has passed several stages including carbonization process, silica extraction, activation with H_3PO_4 , until modification with HNO_3 , H_2O_2 and H_2SO_4 . The carbonization process was carried out at 350°C . The results of the XRF analysis showed that the silica compound content on the activated carbon was 96.144% w/w. The surface area of activated carbon is determined by the methylene blue method which showed the surface area of activated carbon of $178,687 \text{ m}^2/\text{gram}$. Activated carbon modified with HNO_3 , H_2O_2 , and H_2SO_4 were characterized by Boehm titration method and supported by FTIR. Specific capacitance values were determined by *Cyclic Voltammetry* method on modified activated carbon HNO_3 , H_2SO_4 and H_2O_2 in succession $24,96 \mu\text{F/g}$, $271,812 \mu\text{F/g}$, and $13,49 \mu\text{F/g}$.

Keywords: Activated carbon, surface modification, characterization, specific capacitance.

PENDAHULUAN

Karbon adalah salah satu unsur yang paling berlimpah di muka bumi dan memainkan peran penting pada ekosistem yang kita kenal hari ini.. Selama ribuan tahun, karbon juga telah digunakan sebagai sumber energi. Teknologi yang digunakan masyarakat modern saat ini seperti mobil, pesawat terbang, komputer, laser, dan

berbagai benda elektronik lainnya mengandalkan pengembangan bahan berbasis karbon sebagai pasokan energy^[4]. Karbon aktif adalah karbon yang sudah diaktifkan dengan zat aktivator sehingga pori-porinya terbuka^[15]. Beberapa bahan yang banyak digunakan sebagai sumber bahan baku pembuatan karbon aktif adalah batubara, kayu, tulang, serbuk gergaji dan



limbah pertanian seperti tsekam padi, ampas pembuatan kertas serta ampas penggilingan tebu^[11,13].

Energi elektrokimia merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat memecahkan masalah ketersediaan energi. Sistem penyimpanan energi elektrokimia meliputi *fuel cell*, baterai, dan kapasitor. Saat ini, dibutuhkan teknologi yang memiliki rapat energi dan rapat daya yang lebih besar. Salah satu perangkat penyimpanan energi yang lebih efisien ialah superkapasitor. Superkapasitor memanfaatkan permukaan elektroda dan larutan elektrolit dielektrik tipis untuk mencapai kapasitansi beberapa kali lipat lebih besar dibandingkan kapasitor konvensional. Superkapasitor memiliki kerapatan energi yang tinggi, kemampuan menyimpan energi yang besar, prinsip yang sederhana dan konstruksi yang mudah^[12,21].

Pembuatan karbon aktif menggunakan berbagai jenis limbah pertanian telah banyak dilakukan. Salah satu limbah pertanian yang juga menarik perhatian untuk diteliti adalah sekam padi. Sekam merupakan hasil samping saat proses penggilingan padi dan menghasilkan limbah yang cukup banyak, yakni sebesar 20 % dari berat gabah. Diperlukan tempat penyimpanan sekam padi yang luas sehingga biasanya sekam padi dibakar untuk mengurangi volumenya. Jika hasil pembakaran sekam padi ini tidak digunakan, akan menimbulkan masalah lingkungan^[5,8].

Meningkatnya penggunaan karbon aktif menumbuhkan kreativitas untuk memaksimalkan fungsi karbon, salah satunya dengan melakukan modifikasi pada permukaan karbon aktif. Modifikasi permukaan karbon aktif dilakukan untuk menambah gugus aktif. Gugus aktif yang akan ditambah merupakan gugus oksigen.

Pada proses modifikasi permukaan karbon terdapat beberapa larutan oksidator yang pernah digunakan dalam penelitian seperti H_2O_2 , NaOCl , $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, AgNO_3 , H_3PO_4 , HNO_3 dan H_2SO_4 ^[19,6].

Cyclic voltammetry adalah teknik dalam elektrokimia yang dapat memberikan informasi kualitatif secara tepat tentang katalis dan reaksi elektrokimia, seperti sebagai respon elektrokimia katalis dan aktivitas katalitik dari katalis sehubungan dengan beberapa reaksi elektrokimia^[14]. *Cyclic Voltammetry* (CV) dapat digunakan untuk mengidentifikasi sifat-sifat elektrokimia dalam hal ini adalah sifat kapasitansi spesifik dari superkapasitor. Pada penelitian ini akan dilakukan modifikasi permukaan karbon aktif sekam padi menggunakan H_2O_2 , HNO_3 dan H_2SO_4 dengan menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* untuk menentukan nilai kapasitansi spesifik karbon aktif.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sekam padi, NaOH (Merck), akuades, larutan HNO_3 teknis, larutan H_2SO_4 teknis, larutan H_2O_2 teknis, kawat tembaga, kawat platina, elektroda Ag/AgCl , elektroda Pt , larutan natrium bikarbonat (0,05 N), natrium karbonat (0,05 N), natrium hidroksida (0,05 N), asam klorida (0,05 N), natrium tetraborat, kertas saring Whatman nomor 42 diameter 90, indikator penolftalein, aluminium foil, kertas pH universal, kertas saring biasa, parafin, parafilm dan *tissue roll*.

Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tanur (*Muffle Furnace* tipe 6000), cawan porselin, pengaduk magnetik (Fisher tipe 115), ayakan ukuran 100 mesh, desikator, penangas air (*hot*



plate), magnetic bar, batang pengaduk, gelas piala, spatula, cawan petri, mikroburet, statif, corong Buchner, alat gelas laboratorium, termometer, lumpang, neraca analitik (Shimadzu AW220), XRF (ThermoFisherXRF), labu semprot plastik, pompa vakum (Vacuubrand tipe ME4C), oven (tipe SPNISOSFD), pengaduk magnetik (CERAMAG Midi), FTIR (Shimadzu, IR Prestige21) dan *Cyclic Voltammetry* (Aplikasi eDAQ ED410-159).

Prosedur Penelitian

Preparasi Sampel

Sampel sekam padi yang diambil dari lokasi *sampling* kemudian dibawa ke Laboratorium Kimia Fisika Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin. Selanjutnya sekam padi dicuci hingga bersih kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C selama 1 jam^[20].

Proses Karbonisasi

Sampel yang telah bersih dan kering dimasukkan dalam cawan porselin, lalu dipanaskan dalam tanur pada suhu 350 °C selama 30 menit. Setelah itu, karbon sekam padi didinginkan, digerus dan diayak hingga berukuran 100 mesh.

Ekstraksi Silika

Hasil karbon yang telah dikarbonisasi diekstraksi silikanya untuk mendapatkan karbon yang bebas silika. Serbuk karbon ditambahkan dengan NaOH 8 M dan tanpa penambahan NaOH sebagai pembanding, dengan perbandingan massa karbon dengan volume NaOH adalah 1 : 30 (b/v). Sampel kemudian diaduk selama 1 jam dengan suhu 100 °C. Campuran kemudian disaring dengan menggunakan whatman 42. Filtrat kemudian dibuang, sedangkan endapan karbon yang dihasilkan dicuci dengan akuades lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C selama 2 jam. Selanjutnya serbuk hasil karbon dikarakterisasi dengan XRF^[18].

Aktivasi

Karbon kemudian diaktivasi menggunakan larutan aktivator H₃PO₄ 25% dengan perbandingan volume H₃PO₄/massa karbon 4:1, 5:1, dan 6:1, dan didiamkan selama 1x24 jam. Setelah itu, larutan disaring menggunakan corong Buchner disertai pencucian dengan akuades panas secara berulang-ulang hingga pH netral, kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur 100 °C selama 2 jam. Selanjutnya, karbon aktif sekam padi didinginkan dalam desikator^[1].

Modifikasi Permukaan

Karbon yang sudah teraktivasi dicampur agen kimia pengoksidator masing-masing dengan HNO₃, H₂SO₄, dan H₂O₂ masing-masing dengan perbandingan massa 5:1 (mL zat kimia: gram karbon aktif) kemudian dikocok dengan laju konstan (130 rpm) selama 24 jam. Selanjutnya dicuci dengan akuades berulang kali hingga mendapatkan pH netral. Dikeringkan dalam oven selama 4 jam pada suhu 100° C^[9].

Karakterisasi Permukaan Karbon Aktif Secara Kimia dengan Metode Boehm

Analisis gugus asam dilakukan dengan merendam 0,5 gram karbon aktif ke dalam masing-masing larutan NaHCO₃ 0,05 N, Na₂CO₃ 0,05 N dan NaOH 0,05 N sebanyak 50 mL. Campuran didiamkan selama 24 jam dan disaring. Sebanyak 5 mL masing-masing filtrat dipipet dan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer kemudian ditambahkan larutan HCl 0,05 N berlebih dan 2-3 tetes indikator. Analit tersebut dititrasi balik menggunakan NaOH 0,05 N. Analisis gugus basa dilakukan dengan merendam 0,5 gram karbon aktif dalam HCl 0,05 N sebanyak 50 mL. Campuran didiamkan selama 24 jam dan disaring. Filtrat yang dihasilkan, dipipet sebanyak 5 mL ke dalam Erlenmeyer kemudian ditambahkan NaOH 0,05 N berlebih dan 2-3 tetes indikator. Campuran dititrasi balik dengan HCl 0,05 N^[9,6,3].



Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR

Karakterisasi FTIR dilakukan dengan menggunakan FTIR model Shimadzu 820 IPC di Laboratorium Kimia Terpadu Jurusan Kimia FMIPA Unhas dengan preparasi sampel metode pellet KBr. Preparasi sampel dilakukan dengan 1-10 mg sampel dihaluskan dan dicampur dan dicampur dengan 100 mg KBr dan dicetak menjadi cakram tipis atau pelet lalu dianalisis^[10].

Karakterisasi Fisika Karbon Aktif Sekam Padi dengan XRF

Karakterisasi XRF dilakukan menggunakan XRF tipe EDXRF Analyzer ARL Quant'X Thermo Scientific di Laboratorium Terpadu Science Building MIPA Unhas. Sebelum dianalisis, sampel terlebih dahulu dihaluskan sampai berukuran kurang lebih 100 mesh. Sampel karbon aktif kemudian ditempatkan di bawah sampel *holder* dan dipastikan bagian bawah sampel *holder* yang berupa plastik tipis tertutupi secara merata dengan sampel^[10].

Karakterisasi Luas Permukaan dengan Metode Metilen Biru

Luas permukaan ditentukan dengan menggunakan metilen biru berdasarkan kemampuan adsorpsi karbon terhadap senyawa metilen biru, dimana 0,3 gram karbon aktif sekam padi dicampurkan dengan 50 mL larutan metilen biru 300 ppm kemudian distirer selama 20 menit. Selanjutnya campuran disaring, kemudian filtrat yang dihasilkan diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum, adapun larutan standar dibuat dari larutan metilen biru dengan konsentrasi 1, 2, 4, 8 dan 16 ppm yang diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum lalu dibuat kurva kalibrasi untuk menentukan konsentrasi sampel.

Pembuatan Elektroda Karbon

Badan elektroda dibuat dengan menghubungkan kawat tembaga dan platina menggunakan solder uap. Setelah itu dimasukkan ke dalam pipet dan direkatkan menggunakan parafilm.

Karbon aktif dicampur dengan lilin parafin dengan perbandingan massa karbon/massa lilin parafin adalah 1 : 2 dan diaduk sampai homogen menggunakan spatula pada cawan petri. Setelah itu, pasta karbon dimasukkan ke dalam badan elektroda dengan cara ditekan menggunakan spatula agar memadat^[16,17].

Pengukuran Kapasitansi Spesifik

Elektroda pasta karbon diukur kapasitansi spesifik penyimpanan energinya dengan menggunakan teknik *cyclic voltammetry*. Pengukuran ini menggunakan alat Potentiostats EA161 dengan tiga elektroda yaitu elektroda Pt, elektroda Ag/AgCl dan elektroda pasta karbon. Pengujian elektroda dilakukan dengan laju *scan* 100 mV/s menggunakan larutan elektrolit H₂SO₄ 0,1 M sehingga diperoleh voltamogram tegangan dan arus, kemudian dihitung nilai kapasitansi spesifik penyimpanan energinya^[7].

HASIL DAN PEMBAHASAN Preparasi Sampel Sekam Padi

Penyiapan sampel meliputi pencucian dan pengeringan. Pencucian dengan akuades berulang-ulang dengan tujuan menghilangkan kotoran yang menempel pada sekam padi. Pengeringan di bawah sinar matahari dan di dalam oven pada suhu 110 °C selama 1 jam untuk menghilangkan kadar air yang terdapat dalam sekam padi^[20].

Karbonisasi

Proses karbonisasi sekam padi dilakukan pada suhu 350° C selama 30 menit. Karbon yang dihasilkan kemudian diayak dengan ayakan berukuran 100 mesh

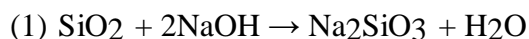


untuk menghasilkan karbon yang berukuran homogen.

Ekstraksi Silika

Karbon sekam padi mengandung SiO_2 96,144%. Proses ekstraksi silika akan memberi struktur awal sehingga lebih murni dan membentuk ruang yang lebih banyak di dalam karbon aktif^[19].

Setelah proses ekstraksi silika, hasil XRF menunjukkan kandungan SiO_2 sebesar 34,03 % dari total seluruh senyawa yang terkandung dalam karbon. Dengan berkurangnya kandungan silika dalam karbon, presentase senyawa CaO meningkat yakni sebesar 36,03 %. Ekstraksi silika pada penelitian ini menggunakan larutan NaOH . Mekanisme pembentukan Na_2SiO_3 dari NaOH dan Silika dapat dilihat pada persamaan reaksi.



Penentuan Luas Permukaan Karbon Aktif Sekam Padi

Karbon aktif kulit Sekam Padi yang telah diaktivasi ditentukan luas permukaannya dengan metode adsorpsi metilen biru. Banyaknya metilen biru yang diadsorpsi sebanding dengan luas permukaan adsorben. Konsentrasi metilen biru dapat dihitung dengan rumus:

$$(2) X_m = \frac{(C_o - C_e) \times V \text{ larutan (L)}}{\text{massa karbon aktif (g)}}$$

Setelah menghitung konsentrasi metilen biru yang teradsorpsi, dapat ditentukan luas permukaan metilen biru berdasarkan rumus:

$$(3) S = \frac{X_m \cdot N \cdot a}{M}$$

Tabel 1. Luas Permukaan Karbon Sekam Padi

Karbon Sekam Padi	Luas Permukaan
Sebelum Aktivasi	81,147
Aktivasi 1:4	178,687
Aktivasi 1:5	83,008
Aktivasi 1:6	113,993

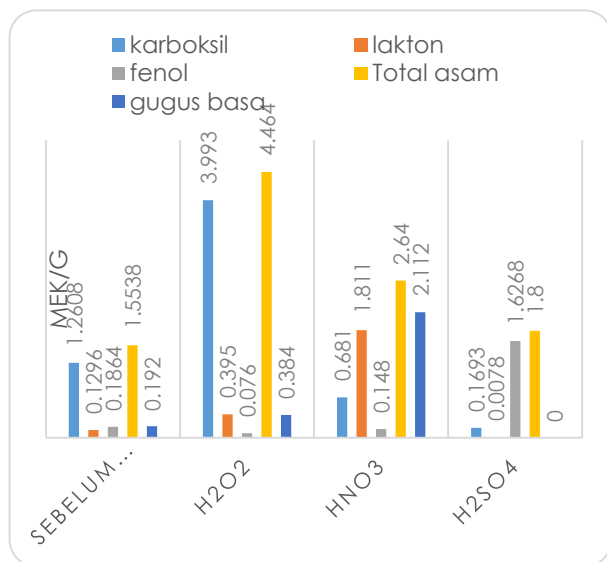
Meningkatnya luas permukaan dari karbon yang digunakan akan menyebabkan semakin banyak ion baik kation maupun anion yang mampu terjerap dalam elektroda yang selanjutnya akan memengaruhi besarnya kapasitansi spesifik^[2].

Modifikasi Permukaan Karbon Aktif Kulit Sekam Padi

Sifat adsorpsi dari suatu karbon aktif sangat dipengaruhi oleh adanya gugus oksida pada permukaan karbon tersebut. Gugus oksida pada permukaan karbon aktif ini dapat bersifat asam atau basa dan dapat ditentukan dengan mudah dengan menggunakan titrasi. Gugus oksida permukaan karbon dapat bersifat asam karena adanya pengaruh dari gugus karboksilat, laktol dan gugus hidroksil fenol (Wibowo dkk, 2004).

Sifat asam dari permukaan karbon dapat dideteksi dengan proses netralisasi yang menggunakan larutan NaHCO_3 , Na_2CO_3 , dan NaOH . Hal ini berdasarkan asumsi bahwa NaHCO_3 hanya menetralkan gugus karboksil pada permukaan karbon, Na_2CO_3 menetralkan gugus karboksil, lakton serta gugus fenol (Boehm, 2002). Kehadiran gugus-gugus fungsi yang mengandung oksigen seperti karbonil, karboksil, hidroksil, dan kuinon dari hasil modifikasi permukaan dengan HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O_2 dikarakterisasi dengan

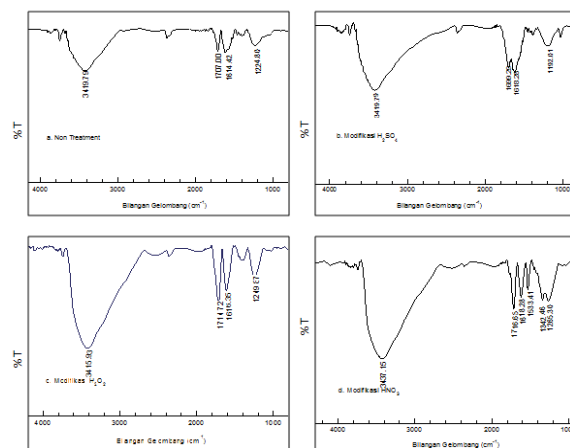
menggunakan metode titrasi Boehm (*back titration*) dan ditunjang oleh analisis menggunakan FTIR. Konsentrasi gugus asam dan gugus basa dari karbon aktif sebelum dan setelah modifikasi ditentukan melalui metode titrasi Boehm seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan konsentrasi gugus fungsi karbon aktif sebelum dan setelah modifikasi HNO₃, H₂SO₄, dan H₂O₂

Hasil titrasi Boehm menunjukkan perubahan gugus fungsi setelah modifikasi khususnya pada kelompok gugus asam. Karbon aktif hasil modifikasi dengan HNO₃ menunjukkan peningkatan konsentrasi pada gugus lakton.

Modifikasi permukaan karbon aktif pada penelitian ini selain dikarakterisasi dengan menggunakan metode titrasi Boehm, juga ditunjang oleh FTIR. Analisis FTIR dilakukan untuk menentukan gugus fungsional terutama gugus yang mengandung oksigen. Spektrum FTIR memberikan data gugus fungsional pada permukaan karbon yang diaktifkan dan dimodifikasi secara kualitatif berdasarkan karakteristik energi yang diserap dalam gugus tertentu.

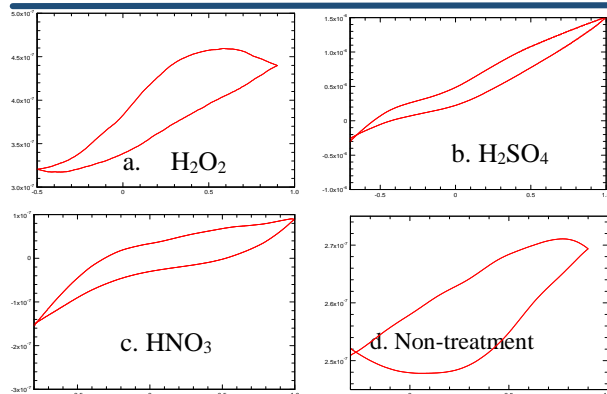


Gambar 2. Spektrum FTIR karbon aktif sekam padi (a) sebelum modifikasi (b) setelah modifikasi dengan H₂SO₄, (c) setelah modifikasi dengan H₂O₂, dan (d) setelah modifikasi dengan HNO₃

Secara kualitatif, analisis menggunakan FTIR mengidentifikasi kehadiran gugus-gugus fungsi yang mengandung oksigen pada semua sampel hasil modifikasi. Spektrum FTIR menunjukkan peningkatan intensitas pada karbonil, gugus hidroksil, karboksil, kuinon, dan lakton pada permukaan karbon aktif yang dimodifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi permukaan dengan asam dapat menambah gugus oksigen pada karbon aktif^[9].

Pengukuran Kapasitansi Spesifik

Karakterisasi pengukuran kapasitansi spesifik dilakukan dengan menggunakan metode voltammetri siklik dan pengujian elektroda dilakukan dengan laju *scan* 100 mV/s. Gambar 11 menunjukkan voltagram dari elektroda pasta karbon sebelum dan sesudah modifikasi.



Gambar 3. Voltammogram elektroda pasta karbon aktif sekam padi

Nilai kapasitansi spesifik cukup dipengaruhi oleh arus *discharge* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 yang berada bidang bawah kurva dan arus *charge* yang berada pada bidang atas kurva. Nilai arus *charge* dan *discharge* dari elektroda digunakan untuk menghitung nilai kapasitansi spesifik menggunakan persamaan 4.

$$(4) \quad C_s = \frac{I_c - I_d}{v \cdot m}$$

Tabel 2. Data *Cyclic Voltammetry* Elektroda Pasta Karbon

Elektroda Pasta Karbon	Laju Scan (V/s)	Massa (gram)	I_c (nA)	I_d (nA)	C_s ($\mu F/g$)
Sebelum Modifikasi	0,1	0,0305	272	247	9,51
HNO ₃	0,1	0,1251	90,3	-222	24,96
H ₂ SO ₄	0,1	0,0894	1500	-930	271,812
H ₂ O ₂	0,1	0,0845	441	327	13,49

Nilai kapasitansi spesifik paling tinggi berturut-turut yang diperoleh oleh elektroda pasta karbon yaitu karbon aktif termodifikasi H₂SO₄, HNO₃, H₂O₂ kemudian karbon aktif tanpa modifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi permukaan karbon aktif dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik. Modifikasi permukaan dapat meningkatkan nilai kapasitansi permukaan karbon aktif karena reaktifitas

dari kelompok gugus oksigen yang meningkat setelah modifikasi. Afinitas elektron yang besar pada atom oksigen membuat oksigen lebih elektronegatif dibandingkan dengan atom karbon (pada gugus karbonil atau kuinon) atau atom hidrogen (pada gugus hidroksil) dan menduduki posisi parsial negatif yang kaya akan elektron dan atom lain akan kekurangan elektron. Perbedaan elektronegatifitas pada kelompok gugus oksigen akan meningkatkan kepolaran pada permukaan karbon aktif dan bersifat lebih hidrofobik.

Nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan masih sangat jauh dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ismanto dkk (2010) mengenai modifikasi karbon aktif sebagai kapasitor elektrokimia dengan nilai kapasitansi spesifik mencapai 264,08 F/g. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya desain elektroda serta jenis dan konsentrasi elektrolit yang digunakan untuk membuat elektroda. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ismanto dkk (2010) menggunakan bahan-bahan yang dapat menghantarkan arus dengan baik sehingga kapasitansi spesifik yang diperoleh lebih maksimal. Penggunaan polivinilid difluorida (pVdF) sebagai pengikat juga menyebabkan perubahan tekstur pada pori yang membuat perbedaan kinerja elektrokimia dari elektroda yang membuat kapasitansi spesifik yang diperoleh jauh berbeda dari yang telah dilakukan pada penelitian ini.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Luas permukaan karbon sekam padi dengan metode adsorpsi metilen biru menggunakan aktivator H₃PO₄ setelah aktivasi dengan rasio 1:4 adalah 178,687 m²/g, 1:5 adalah 83,008 m²/g, 1:6 adalah 113,993 m²/g, sedangkan sebelum aktivasi adalah 81,147 m²/g.
2. Modifikasi permukaan dengan larutan



HNO₃, H₂SO₄, dan H₂O₂ dapat menambah gugus fungsi pada permukaan karbon aktif sekam padi.

3. Modifikasi permukaan karbon aktif sekam padi menggunakan HNO₃, H₂SO₄, dan H₂O₂ dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik yang menunjukkan hasil yakni sebelum modifikasi sebesar 8,196 µF/g, dengan modifikasi HNO₃ sebesar 24,96 µF/g, dengan modifikasi H₂SO₄ sebesar 271,812 µF/g, dan modifikasi H₂O₂ sebesar 13,49 µF/g.

DAFTAR PUSTAKA

1. Andhika, R., 2015, *Elektrodeposisi Logam Cu Pada Permukaan Karbon Aktif Sekam Padi Bebas Silika dengan Iradiasi Ultrasonik*, Skripsi tidak diterbitkan, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Makassar.
2. Ariyanto, T., Prasetyo, I., dan Rochmadi, 2012, Pengaruh struktur Pori terhadap Kapasitansi Elektroda Superkapasitor yang dibuat dari Karbon Nanopori, *Reaktor*, **1** (14), 25-32
3. Boehm, H.P., 2012, Surface Oxides on Carbon and Their Critical Assessment, *Carbon*, **40**, 145-149
4. Candelaria, S.L., Cao, G., Li, J., Li, X., Liu, J., dan Stephanie, L., 2012, Nanostructured Carbon for Energy Storage and Conversion, *Nano Energy*, **1** (1), 195-220.
5. Ginanjar, R.R., Ma'aruf, A., dan Mulyadi, A.H., 2014, Ekstraksi Silika dari Abu Sekam Padi Menggunakan Pelarut NaOH, *Prosiding Seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian dan Pengabdian LPPM UMP*, Purwokerto
6. Harti, R., Allwar, Fitri, N., 2014, Karakteristisasi dan Modifikasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit dengan Asam Nitrat untuk menyerap Logam Besi dan Tembaga dalam Minyak Nilam, *Ind. J. Chem. Res.*, **2** (1), 1-10.
7. Himmaty, I., Endarko, 2013, Pembuatan Elektroda dan Perancangan Sistem Capacitive Deionization untuk Mengurangi Kadar Garam pada Larutan Sodium Clorida (NaCl), *Berkala Fisika*, **16** (3), 67-74.
8. Hsu, H.W., dan Luh, B.S., 1980, *Rice Hull: Rice Product and Utilization*, Avi Publishing Company, New York
9. Ismanto, A.E., Wang, S., Soetaredjo, F.E., Ismadji, S., 2010, Preparation of Capacitor's Electrode from Cassava Peel Waste, *Bioresour. Technol.*, **101**, 3534-3540.
10. Labanni, A., Zakir, M. dan Maming, 2015, Sintesis dan Karakterisasi Karbon Nanopori Ampas Tebu (*Saccharum officinarum*) dengan Aktivator ZnCl₂ melalui Iradiasi Ultrasonik sebagai Bahan Penyimpan Energi Elektrokimia, *Indo. Chim. Acta*, **8** (1), 1-9.
11. Lempang, M., 2014, Pembuatan dan Kegunaan Arang Aktif, *Info Teknis EBONI*, **11** (2), 65-80.
12. Riyanto, A., 2014, Superkapasitor Sebagai Piranti Penyimpan Energi Listrik Masa Depan, *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, **2** (3), 1-8.
13. Sembiring, M.T. dan Sinaga, T.S., 2003, *Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya)*, USU Digital Library, Medan.
14. Song, C. dan Zhang, J., 2008, Electrocatalyst Oxygen Reduction



- Reaction, *PEM Fuel Cell Electrocatalysts and Catalyst Layers Fundamentals and Applications*, **XXI**, 1-4.
15. Surest, A.H., Kasih, J.A.F. dan Wisanti, A., 2008, Pengaruh Suhu, Konsentrasi Zat Aktivator dan Waktu Aktivasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri, *J. Tek. Kim.*, **15** (2), 17-21.
16. Vytras, K., Svancara, I., Metelka, R., 2009, Carbon Paste Electrodes in Electroanalytical Chemistry, *J. Serb.Chem. Soc.*, **74** (10), 1021-1033.
17. Wachid, M.R., Setiarso, P., 2014, Pembuatan Elektroda Pasta Karbon Termodifikasi Bentonit untuk Analisis Ion Logam Tembaga(II) secara Cyclic Voltammetry Stripping, *Prosiding Seminar Nasional Kimia, Universitas Negeri Surabaya*, Surabaya, 20 September.
18. Wei, X., Xiao, L., Jin, Z., Ping, Z.S., 2011, Carbon Derived from Rice Husk for Electrochemical Capacitor Application, *Mater. Res.*, **239-242**, 2101-2106.
19. Wibowo, N., Setiawan, J., Ismadji, S., 2004, Modifikasi Gugus Aktif Suatu Karbon Aktif dan Karakterisasinya, *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, **3** (1), 39-46.
20. Zakir, M., Botahala, L., Ramang, M., Fauziah, S. dan Abdussamad, B., 2013, Elektrodeposisi Logam Mn pada Permukaan Karbon Aktif Sekam Padi dengan Iradiasi Ultrasonik, *Indo. Chim. Acta*, **6** (2), 9-18.
21. Zhu, Z., Hu, H., Li, W., and Zhang, X., 2007, Resorcinol Formaldehyde Based Porous Carbon as an Electrode Material for Supercapacitors, *Carbon*, **1** (45), 160-165.